



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Studie av vind- och vattenkraft i Sverige

Aran Anwar
Bryan Menezes
Rasam Sheibeh



Kandidatexamensarbete

KTH – Skolan för Industriell Teknik och Management

Energiteknik EGI-2018

Bachelor of Science Thesis

KTH School of Industrial Engineering and Management

Energy Technology EGI-2018

TRITA-ITM-EX 2018:402

SE-100 44 STOCKHOLM

**Bachelor of Science Thesis EGI-2018
TRITA-ITM-EX 2018:402**



**KTH Industrial Engineering
and Management**

Studie av vind- och vattenkraft i Sverige

**Aran Anwar
Bryan Menezes
Rasam Sheibeh**

Approved 2018-06-08	Examiner Peter Hagström	Supervisor Björn Palm
	Commissioner	Contact person

Sammanfattningar

Denna rapport har gjorts av tre teknologer inom ramen för ett kandidatexamensarbete på Kungliga Tekniska Högskolan. Teknologerna studerar Civilingenjörsprogrammet Maskinteknik och examensarbetet har motivet Hållbar Energiteknik. Bakomliggande orsaker till att en studie gjorts inom detta ämne är för att reda ut hur bra lämpade energislagen vindkraft och vattenkraft är i Sverige och hur produktionskostnaden för dessa ser ut.

Flera parametrar har undersökt bland annat ekonomiska, miljömässiga och sociala. Dessa energislag har valts eftersom de är bland de energislag som bidrar mest till svensk elproduktion och då produktion av elektricitet från vindkraft har ökat kraftigt på senare tid. Kraftverkens verkningsgrad har tagits i beaktelse för att granska effektiviteten hos dem.

Litteraturstudier har genomförts i början av projektets gång där arbetet delades upp bland teknologerna i tre huvudundersökningar: vindkraft, vattenkraft samt produktionskostnader beträffande vind- och vattenkraft. Dessa undersökningar av kraftslagen har även gjorts ur ett tidsperspektiv från 70-talet till nuläget. Inom detta tidsspann har vattenkraft varit mest dominerande men slutsatser och framtida analyser har dragits baserat på litteraturstudien samt de resultat som tagits fram.

Målet med studien har varit att göra en så noggrann studie som möjligt ur så många lämpliga synvinklar som möjligt för att förstå hur vindkraftverk och vattenkraft fungerar. Dessutom har en studie genomförts kring produktionskostnader hos dessa kraftslag. Fokus lades på tre olika kostnadsmodeller i syfte för att förstå de parametrar som påverkar svenska elproducenter. Analyser av detta återfås i resultat och diskussionsdelen av denna rapport.

Resultaten visade att verkningsgraden för vattenkraft är betydligt högre än för vindkraft. Ur ett miljöperspektiv är både vindkraft eller vattenkraft att föredra framför andra kraftslag dock beroende på i vilken skala de byggs samt det geografiska läge inom som de placeras inom Sverige. Ur ett Socialt sett noterades det att vindkraft ej föredras i områden kring de svenska storstäderna estetiska skäl. Dessutom ligger produktionskostnaderna för de olika källorna inom ett relativt nära intervall. Därmed ligger priset för vindkraft mellan 328 till 644 [SEK/MWh] och för vattenkraft 390 till 470 [SEK/MWh].

Abstract

This report has been conducted within the realms of a bachelor thesis by three engineering students at KTH Royal Institute of Technology studying Mechanical Engineering. The field of this report is Sustainable Energy Engineering. A background study within this field has been conducted with the subset being, how suitable wind power and hydro power and at what price it is produced in Sweden.

A multitude of variables has been taken into consideration such as economic, environmental and social. The reason why these sources of electricity were chosen is due to the large scale that they contribute towards the overall Swedish electricity production. Also, the share of wind power has risen dramatically in the last few years. The efficacy of the two power sources has been studied.

A literature study was conducted in the initial phase of the project. The study was divided in three parts; wind power, hydro power, and an analysis of previous studies researching the production cost from these sources. Studies are provided from the 1970s to the present. Hydro power has been the largest contributor to Swedish power system during this period. Predictions for future scenarios have conducted.

A thorough analysis of how the wind power and hydro power works has been conducted. A study has also been done on the productions cost from these sources. Three cost models have served as a basis an analysis such that parameters that affect the price could be understood. The analysis is available in the results and discussion section of this report.

Results showed that the efficiency is higher for hydro power compared to wind power. Both wind power and hydro power are preferable from an environmental perspective, depending on the specific situation such as geographic location. It was noted that from a social perspective that wind power is not suitable to be located near Sweden's major cities. Also, the productions costs for both sources are relativity close to each other. Thereby the prices of wind power are between 328 and 644 [SEK/MWh] and hydropower, 390 and 470 [SEK/MWh].

Förord

Denna rapport avser ett kandidatexamensarbete I energiteknik inom ramen för Civilingenjörsprogrammet i Maskinteknik på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm. Under denna process har flera personer hjälpt till att förbättra denna rapport. Ett särskilt tack skall riktas till vår handledare Björn Palm professor i Energiteknik, prefekt på Institutionen för Energiteknik som bidragit med synpunkter och användbara råd under arbetsgången.

Stockholm maj 2018

Aran Anwar

Bryan Menezes

Rasam Sheibeh

Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	10
1.1	Problemformulering och mål.....	10
1.2	Problemformulering.....	10
1.3	Mål.....	10
2	Metod.....	10
2.1	Vattenkraft.....	11
2.1.1	Prognos.....	12
2.1.2	Klimatpåverkan.....	13
2.2	Vindkraft.....	13
2.2.1	Prognos.....	14
2.2.2	Klimatpåverkan.....	15
2.3	Styrmedel.....	16
2.3.1	Fastighetskatten.....	16
2.3.2	Elcertifikat.....	16
2.4	Kapacitetsfaktor.....	16
2.5	Kostnadsstudier.....	16
2.5.1	PWC.....	17
2.5.2	Lazard.....	18
2.5.3	Elforsk.....	18
3	Känslighetsanalys.....	25
4	Resultat och diskussion.....	26
4.1	Andel produktion.....	27
4.2	Användning av energi.....	28
4.3	Verkningsgrad.....	28
4.4	Jämförelse av kostnadsstudier.....	29
4.5	Kapacitetsfaktor.....	30
4.6	Politiska faktorer.....	30
5	Slutsatser och framtida arbete.....	31
7	Referenser.....	32

Figurer

Figur 1, Ett av Indalsälvens största vattenkraftverk. (NCC, 2012)	11
Figur 2, vindturbiner med vertikal och horisontell axel (Eastwick, 2009) (Earthmail, 2018)	14
Figur 3, Elproduktion i Sverige 1970–2014, TWh(Tera Watt per timme) (Analys.se, 2015)	15
Figur 4, Kostnaden för vindkraft i olika regioner (Lazard, 2017)	18
Figur 5, trenden på vindkraft priset (Lazard, 2017).....	18
Figur 6, Kapitalkostnad och DoU kostnad för vindkraft (Energikommisionen, 2016).....	21
Figur 7, jämförelse av produktionskostnader, skatter och avgifter samt elcertifikat (Energikommisionen, 2016).....	22
Figur 8, jämförelse av produktionskostnader, skatter och avgifter samt elcertifikat (Energikommisionen, 2016).....	24
Figur 9, Kapitalkostnad och DoU kostnad för vattenkraft (Energikommisionen, 2016)	24
Figur 10, Andel elproduktion i Sverige år 2017 för varje energislag (Energimyndigheten, 2018)..	27
Figur 11, Andel energi som används av hushåll samt service, transport och industri år 1970 och 2015, TWh (Energimyndigheten, 2018).....	28

Tabeller

Tabell 1, Beräkning av investeringskostnaden i tre scenarier (Price waterhouse coopers, 2010)...	17
Tabell 2, Resultat av PWC rapporten gällande vattenkraft och vindkraft (Price waterhouse coopers, 2010).....	17
Tabell 3, Sammanfattning av Elforsk rapporten kring vindkraft (Energikommisionen, 2016)	19
Tabell 4, Fullastimmarna för de olika typerna av parker (Energikommisionen, 2016).....	19
Tabell 5, Kostnaderna och kostnadsfördelningarna för att sätta upp vindkraftverk/parker (Energikommisionen, 2016).....	20
Tabell 6, Kostnader för vindkraft på land och hav (Energikommisionen, 2016).....	21
Tabell 7, Kostnaderna och kostnadsfördelningarna för att sätta upp vattenkraftverk (Energikommisionen, 2016).....	23
Tabell 8, Kostnader för vattenkraft (Energikommisionen, 2016).....	23
Tabell 9, sammanställningen av energimodellers förslag för priser till vind- och vattenkraft	29

Nomenklatur

Förkortningar

IVA	Ingenjörsvetenskapsakademien
SEK	Svenska Kronor
TWh	Tera Watt timme
GW	Giga Watt
MW	Mega Watt
kW	Kilo Watt
toe	Ton oljeekvivalenter
IEA	International Energy Agency
DoU	Drift och Underhållskostnader

1 Introduktion

Hur vattenkraft och vindkraft fungerar presenteras kort under introduktion samt läget för de respektive energikällor i svensk elproduktion studeras, det vill säga hur det historiskt ändrats och även vilka mål staten bestämt för elproduktionen och energipolitiken. Det ligger en betydande fokus på ekonomiska aspekter genom att studera kostnadsmodeller och parametrar som påverkar energipriser.

1.1 Problemformulering och mål

Denna studie syftar till att jämföra energislagen vattenkraft och vindkraft i Sverige samt hur dessa energislag påverkar den svenska elproduktionsmarknaden och till vilket pris de produceras.

1.2 Problemformulering

Huvudproblemet i denna studie avser vilket energislag som är bäst lämpad för den svenska elproduktion ur främst ett ekonomiskt perspektiv men såväl miljömässiga som sociala inslag har tagits i beaktelse. Problemet är av hög relevans då vatten- och vindkraft är två centrala energislag som bidrar till den svenska elproduktionen.

1.3 Mål

Målet med studien är att göra en så noggrann jämförelse som möjligt där flertalet faktorer tas i beaktelse såsom:

- Miljömässiga
- Ekonomiska
- Sociala

Vidare har ovannämnda faktorer bland annat analyserats med hjälp av resultat från diverse studier gjorda av olika statliga bolag såsom Vattenfall eller Lazard. På så sätt har olika resultat jämförts och gett mer belägg att ta hänsyn till i jämförelsen av de två energislagen och dess påverkan på den svenska elproduktionskostnaden.

2 Metod

Metoderna som använts i denna undersökning har baserats på litteraturen till förstudien. Arbetet har delats upp i tre huvudspår: undersökning om vattenkraft, vindkraft och kostnadsmodeller för generering av el. Grundläggande studier har gjorts angående hur vind- och vattenkraftverk fungerar samt dessa kraftverks roll i Sverige med avseende på det svenska elsystemet och dess kostnad. Samtidigt har det även gjorts en mer specifik undersökning angående just kostnaden för generering av el. Här har data samlats in från olika statistiska byråer såsom: Lazard, SCB och Energimyndigheten. På så sätt har resultat samlats in och jämförts för att kunna optimera förutsättningarna för denna rapport. Målet har varit att göra en så noggrann jämförelse mellan vatten- och vindkraftverk som möjligt ur ett främst lönsamhetsperspektiv för att därefter kunna avgöra vilket kraftverk som gynnar den svenska elkostnaden främst. Givetvis har undersökningen även tagit i beaktelse miljömässiga samt sociala aspekter som underlag för jämförelsen.

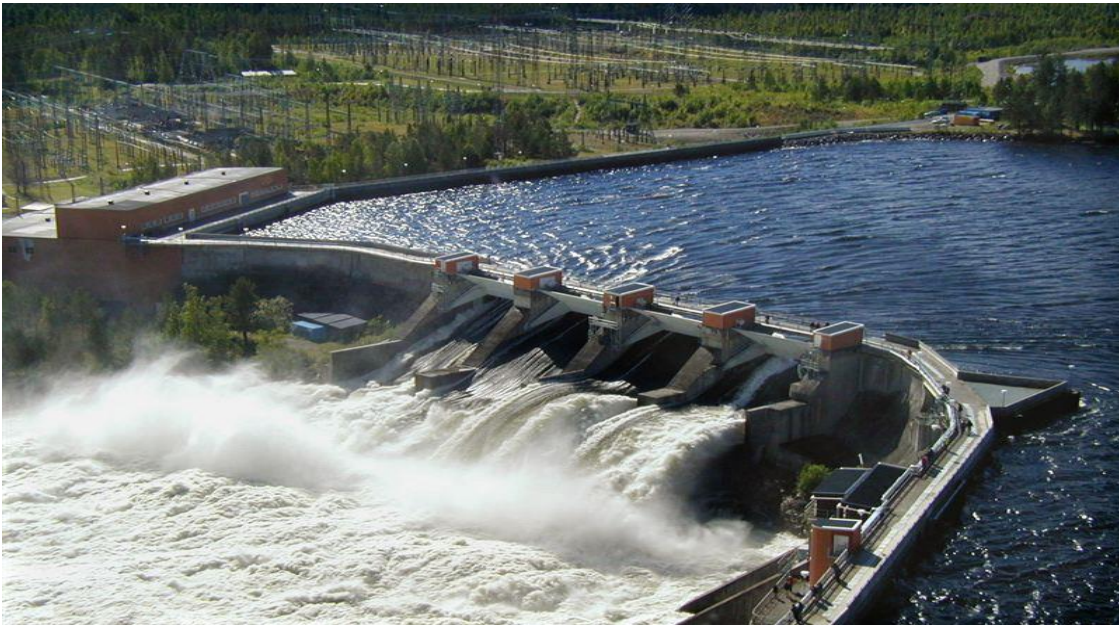
2.1 Vattenkraft

I ett vattenkraftverk omvandlas energin i ett vattendrag till elektrisk kraft via en turbin samt generator. Vanligtvis från en damm eller ett magasin samlas tillrinnande vatten. Stora mängder vatten kan lagras i dammen och samtidigt kan fallhöjd från en längre del av vattendraget samlas och utnyttjas i vattenkraftverket. Via magasinet leds vattnet till en tilloppsledning som för vattnet vidare till en turbin där vattnets lägesenergi omvandlas till tryck- och rörelseenergi. Vattnet som flödar igenom får turbinen att rotera och denna turbin driver i sin tur en generator för att alstra elektricitet. Fallhöjd samt flöde är två centrala faktorer för vilken turbintyp som skall användas. När vattnet passerat turbinen åker den via en avloppsledning tillbaka till vattendraget (Vattenfall, 2013a).

Vattenkraft delas ofta i två olika slag

- Vattenkraft med olika slag av fördämningar
- Strömvattenkraft där man utnyttjar strömmande vatten utan fördämningar.

Fördämningar kan både vara konstruerade dammar eller regleringen av en befintlig sjö. Ett exempel på en vattenkraft med en fördämning är vattenkraftverken vid Indalsälven som kan ses i Figur 1.



Figur 1, Ett av Indalsälvens största vattenkraftverk. (NCC, 2012)

Vattenkraftverk av de mindre slagen har väldigt stor potential (Vattenfall, 2013b). Här är elproduktionen förnybar och billig i drift, exakt som de storskaliga vattenkraftverken. Skillnaden är att storskaliga vattenkraftverk innehar en större påverkan på den kringliggande miljön och dess ekosystem. Vattenfall hävdar att på grund av att funktioner för reglering samt lagring i de mindre kraftverken ofta saknas leder detta till att leveranssäkerheten för småskaliga vattenkraftverk är sämre än storskaliga vattenkraftverk. Detta medför att energin från mindre kraftverket inte kan användas som reglerkraft.

Tittas det närmare på energisystemet så spelar pumpkraftverk en stor roll då de gör det möjligt att lagra energi så att tillgången och efterfrågan på el kan stämma överens. Vid hög elproduktion och

låg konsumtion, exempelvis vid nattetid eller under sommaren, så kan den el som blir över användas för att pumpa upp vatten till ett högre positionerat vattenmagasin. Om förhållandena är tvärtom det vill säga att vid dagtid eller under vinterhalvåret så är efterfrågan på el större än tillgången. Detta medför att vatten släpps ut från det högre belägna magasinet och el kan produceras på samma sätt som vid ett vanligt vattenkraftverk. Dock skall det nämnas att pumpkraftverk ofta förbrukar mer energi än vad de producerar vilket gör att de kallas för nettokonsumenter av energi. Vattenkraft kan användas dels för produktion av baskraft men även för att snabbt kunna reglera produktionen när efterfrågan på el ökar eller minskar (Vattenfall, 2013b).

Beroende på lokala förutsättningar gestaltas varje vattenkraft på ett unikt sätt dels beroende på, som tidigare nämnts, fallhöjd och vattenflöde men även med avseende på samverkan med resterande anläggningar i samma vattendrag. Oftast positionerade högre upp i vattendraget, används en del anläggningar som reglerkraft och används i drift endast en bråkdel av årets timmar samtidigt som andra anläggningar är i drift så mycket som det bara går under året. Detta leder till att dessa anläggningar varierar med avseende på deras ingående delar samt de lokala förutsättningarna. Till exempel kan anläggningarna vara strömkraftverk utan långa kanaler eller tuber alternativt kraftverk med hög fallhöjd och långa vattenvägar (Energikommisionen, 2016).

Vattenkraft anses av Svenskenergi (Bixia, u.d.) som det mest flexibla energislaget. Den h, Kostnader för vattenkraft är förutsättningarna att skapa ett system där Sverige kan bli självförsörjande på både energi och effekt. Elen som produceras är beroende av hur stor nederbörden är och det skall tas i beaktelse att den tillgängliga effekten inte påverkas ur ett kortsiktigt perspektiv. Tittar man på olika delar i Sverige så är det tydligt att en väsentlig del av den nya vattenkraften kommer från de norra delarna. Detta medför att investeringar i överföringskapacitet kommer att ske söderut. Vattenkraft har en verkningsgrad på nästan upp till 90 %. Det innebär att cirka 90 procent av rörelseenergin från vattnets fall genom turbinen omvandlas till elenergi (Bixia, u.d.).

2.1.1 Prognos

Historiskt, fanns det fler småskaliga vattenkraftverk i Sverige, men på grund av låg lönsamhet stängde man under 1950-talet ner flertalet av dessa. Dock har det under de senaste 10 åren öppnats upp vattenkraftverk som tidigare var nedlagda. Detta tack vare dyrare bränslepriser och med syftet att öka andelen förnybar el då den som råder nuvarande ej är tillräcklig för alla (Bixia, u.d.).

Som tidigare nämnts har vattenkraft möjligheten att användas som reglerkraft (Vattenfall, 2013a) och i samband med att man kan laga vattenkraftsenergi så kommer vattenkraften att bli allt viktigare.

Förutom pumpkraftverk är andra tekniker såsom vågkraft, tidvattenkraft och saltkraft är på väg men likaså är de under utveckling. Det är även svårt att tyda hur stor påverkan de kommer att spela in i de framtida energisystemen. (Vattenfall, 2013b)

Om andelen vattenkraft ökas (ligger för närvarande på cirka 40 % i Sverige) kommer det leda till större i inhemsk kraftproduktion mellan våtår och torrår. Det kan således leda till att kraftutbytet med närliggande länder expanderas. Mer vattenkraft skulle innebära en utvidgning av, de än så länge, skyddade älvar samt vattendrag. För att detta ska kunna bli en verklighet måste det ske en ändring i lagstiftningen. Byggande av nya, moderna vattenkraftverk är ett långsiktigt projekt som innehar en stor teknisk samt ekonomisk livslängd (Energimyndigheten, 2018).

I allmänhet råder det en positiv syn på att öka användningen av denna förnybara energikälla. I Sverige är det i princip helt omöjligt att bygga ny småskalig vattenkraft eftersom det anses påverka miljö och fiske i stor utsträckning (Vattenfall, 2013b).

2.1.2 Klimatpåverkan

Det är främst vattenlevande djur som påverkas av vattenkraftverken eftersom dess ständiga förändring av de lokala vattenmassorna skapar vandringshinder för dem. Den småskaliga vattenkraften är mest ifrågasatt eftersom produktionen ger en mindre mängd el än de storskaliga kraftverken, men påverkar miljön lika mycket. (Bixia, u.d.)

Klimatmässigt har vattenkraften har många fördelar. Den tar till vara på ett naturligt kretslopp, är dessutom fullkomligt förnybar och har därför liten klimatpåverkan vilket gör den till en viktig energikälla för framtiden. Samtidigt finns miljöutmaningar för en hållbar vattenkraftproduktion. (Skellefteå Kraft, u.d.)

Som tidigare nämnts så är vattenkraften är lagrings- samt reglerbar, vilket möjliggör användningen av andra väderberoende, icke reglerbara, energikällor som vind och solkraft i energisystemet. Dock finns det en del utmaningar för vattenkraftsproduktionen. De stora kraftverken och dammarna påverkar miljön samt den biologiska mångfalden runt omkring samt inuti vattendragen. Skillnaden i vattennivåer samt flöden påverkar växter och djurs habitat i vattnet samt vid strandzonen. Dammarna påverkar i sin tur fiskarnas möjlighet till att simma in till specifika områden som exempelvis kan vara blockerad vattenkraftverken eller ha för hög ström (Skellefteå Kraft, u.d.).

Arbeten har gjorts gentemot en bra miljö runt vattenkraftverken samt för att kunna bevara den biologiska mångfalden så optimalt som möjligt. Miljöaspekten är ett av Skellefteå Krafts största frågor gällande vattenkraft och de har exempelvis bedrivit studier samt undersökningar mot att anlägga och utveckla fiskvägar som underlättar för fiskar att passera kraftverken. Nedanstående exempel är projekt de driver mot en minimal påverkan på miljön som vattenkraftverk kan påverka (Skellefteå Kraft, u.d.):

- att installera en ny typ av turbin som är anpassad för att leda fiskyngel på sidan
- att bygga vandringsvägar som gör det möjligt för fiskarna att simma förbi anläggningarna
- att utreda vår faktiska regleringspåverkan (flöden som varierar) och vad som krävs för att minska den

2.2 Vindkraft

Det finns olika typer av maskinkonstruktioner som omvandlar rörelseenergin från vind till elektricitet vilket kan delas in i två stora grupper av vindkraftverk med horisontell och vertikal axel. Ett horisontellt vindkraftverk måste riktas mot vinden och detta görs med hjälp av vindflöjlar för mindre vindkraftverk medan de stora använder sig av flertalet vindsensorer tillsammans med en servomotor. För det mesta inom kommersiell produktion av elkraft används trebladiga turbiner som riktas mot vind med hjälp av datorstyrda motorer. Att ha hög effektivitet, låg vridmoment och möjlighet att tåla höga hastigheter är konkurrerande för stora vindkraftverk. Det önskas att ha vindturbiner så högt som möjligt för att undvika turbulens och få en stadig vind. En vindturbin brukar vara 60–90 meter högt med bladen mellan 20–40 meters långa som roterar med 10 till 22 varv per minut. Hastigheten brukar förstärkas med hjälp av en växellåda till generatoren (Swedewind, u.d.).

I en omgivning med vindriktningar som varierar ofta är ett vindkraftverk med vertikal axel av intresse då den vertikala axelns effektivitet är oberoende av vindriktningen. Detta medför i sin tur att turbinen kan ställas närmare marken med en markbaserad rorenhet och växellåda och därmed underlättas underhållet jämfört med alternativet horisontell axel. Swedewind hävdar att högre vridmoment i de vertikal-axelns turbiner kan nämnas som en nackdel då det leder till högre kostnader för drivlinan och även lägre effektkoefficient. Figur 2 visar exempel på hur vertikalt och horisontalt vindkraftverk.



Figur 2, vindturbiner med vertikal och horisontell axel
(Eastwick, 2009) (Earthmail, 2018)

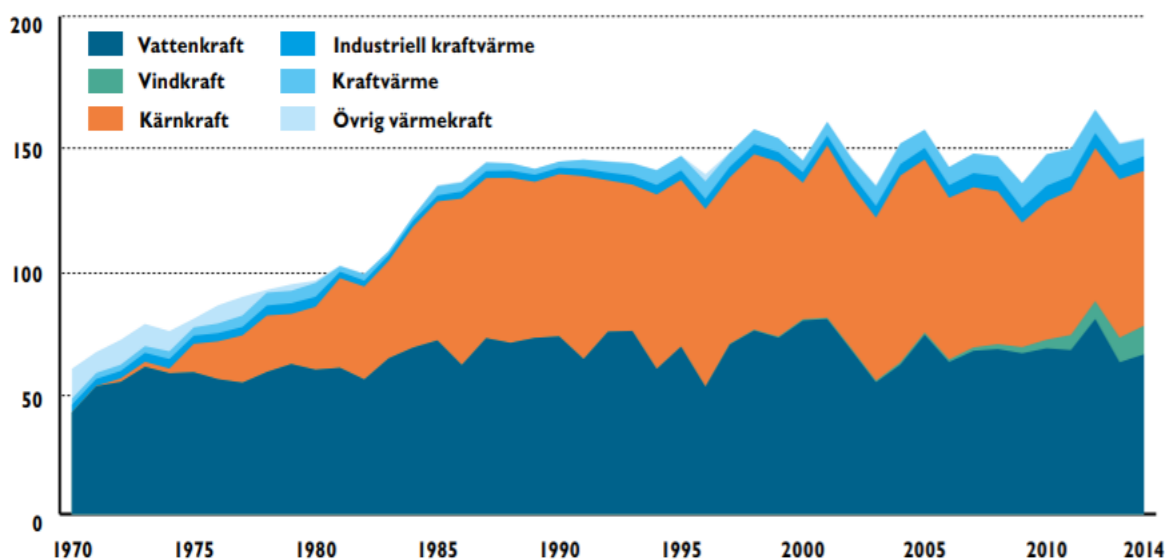
Verkningsgraden är en annan viktig parameter på alla kraftverk och kännetecknar hur mycket av totala energin som tas ut ur källan (Olofsson, 2012). I vindens fall betyder det mer specifikt att energin som turbinen lyckas ta ut ur vinden. 100 % verkningsgrad på vindkraftverket innebär att luften ska bli still efter turbinen då all rörelseenergi är urtagen vilket är uppenbarligen omöjligt och en 0 % verkningsgrad låter all luft att passera utan att någon energi sparas i turbiner. I ett sådant komplext fall gäller det att hitta den högsta verkningsgrad som ett vindkraftverk kan uppnå. Albert Betz, den tyska fysiker, har publicerat en studie som hävdar att den högsta verkningsgrad för vindkraft är $16/27$ av den rörelseenergi vinden har vilket motsvarar 59,3 % (Olofsson, 2012). Betz berättar också att en viktig parameter i verkningsgraden är vindhastigheten på det sättet att högre vindhastighet minskar verkningsgraden.

Att uppnå den högsta möjliga verkningsgraden är viktigt då det har direkt relation med hur mycket energi genereras. Olofsson fortsätter att detta har gjort att investeringar på forskning i det här området har varit stora och brukar uppfattas rimliga.

2.2.1 Prognos

Figur 3 visar hur vindkraft har varit i fokus i Sverige från och med 2000 talet; i nuläget står vindkraft för drygt 10 % av den totala elproduktionen.

Vindkraft är ett utav de energikällorna där produktionen körs väldigt få timmar med full effekt då det är beroende på hur mycket det blåser. Trots att det varierar hur vinden beter sig under ett år har vindkraften den goda egenskapen att det blåser mer på vinterhalvåret när elanvändningen är som störst.



Figur 3, Elproduktion i Sverige 1970–2014, TWb (Tera Watt per timme) (Analys.se, 2015)

Växande energibehov, befolkningsrika länder som Kina och omställning mot renare energikällor, Det totala energibehovet i världen uppgick 2005 till 11,4 miljarder ton oljeekvivalenter (toe) (Statens energimyndigheten, 2015). Det innebär 58 % från 1980. Prognosen är att energibehovet kommer att fortsätta öka i en lika hög takt. Den Internationella Energimyndigheten (IEA) har beräknat det framtida behovet i tre olika scenarier. Det första är referensscenariot, i vilket man räknar med en ökning av energibehovet till 17,7 miljarder toe år 2030 – en ökning med 55 %. Alternativet kan vara det andra scenariot, då man utgår ifrån att gjorda politiska åtaganden samt några åtagande som diskuteras under tiden. I det kommer energibehovet att uppgå till 15,8 miljarder toe, en uppgång från idag på 39 %. Det tredje scenariot, tillväxtscenariot, förutsätter att Kina och Indien fortsätter att växa markant snabbare än västvärlden. I det scenariot ökar energibehovet till 18,7 miljarder toe år 2030, motsvarande en uppgång på 64 %.

2.2.2 Klimatpåverkan

Fördelen med vindkraft är att det inte släpper några luftföroreningar vid elproduktion och även under anläggningens konstruktion är energianvändningen begränsad jämfört med exempelvis elproduktion med fossila bränslen (Alopaeus, 2017) däremot ska det inte glömmas att vindkraft har exempelvis en relativt dålig visuell påverkan i naturmiljön. Det kommer även en del buller av generatoren in i vindturbinen vilket gör att de inte kan byggas i närheten av bebyggelser.

På grund av sådana begränsningar planeras utbyggnaden av vindkraftverk huvudsakligen i skogsområden. Det finns dessutom andra miljöparametrar som vindkraft har svårt med exempelvis en begränsad påverkan på djurlivet. Naturvårdsverket påpekar att vindkraften inte ska byggas där "biologiska värden är låga". Detta innebär att platser med koncentration av fåglar och fladdermöss och även där ovanliga arter finns, är inte lämpliga för vindkraftverk.

Den största orsaken är kollision med rotorblad och även påverkan i geografiska läget som kan leda till att värdefulla habitat försvinner om exempelvis många vindkraftverk byggs.

Vindkraft kan också byggas på havet, offshore vilket har betydande minde konsekvenser då fiskar i de flesta fall inte påverkas av buller och vibrationer.

2.3 Styrmedel

Styrmedel är en viktig faktor för det slutgiltiga priset när det gäller att generera el. I Sverige finns det ett flertal olika styrmedel och de skiljer sig beroende på kraftslag.

De viktigaste styrmedel är skatter och subventioner. Generellt så riktas kraftslag som anses vara dåliga för miljön med skatter samtidigt som kraftslag som anses vara bra för miljön får subventioner.

De styrmedel som innebär en kostnad hos elproducenterna är främst fastighetskatterna. Den främsta subventionen i det svenska elsystemet är elcertifikatsystemet.

2.3.1 Fastighetskatten

Producenter av vind och vattenkraft betalar i dagsläget fastighetskatt på sina el genererande tillgångar. Fastighetsskatten för vindkraftverk uppgår till 0,2 % av taxeringsvärdet och för vattenkraft ligger den på 2,2 % av taxeringsvärdet (Skatteverket, 2018). I ett riksdagsbeslut från 2017-05-17 beslutades att fastighetskatten på vattenkraft stegvis skall sänkas till 0,5 % under en fyraårsperiod (Sverigesriksdag, 2017).

2.3.2 Elcertifikat

Energimyndigheten definierar elcertifikatsystemet som ett ”marknadsbaserat stödsystem som ska öka produktionen av förnybar el på ett kostnadseffektivt sätt” (Energimyndigheten, 2017). Stödsystemet har funnits i Sverige sedan 2003 och sedan år 2012 har Sverige och Norge en gemensam marknad för elcertifikat. Bland annat har vindkraft och viss vattenkraft rätt att tilldelas elcertifikat. Alltså får producenter subventioner motsvarande elcertifikatspriset. Den 8 maj 2018 låg priset för elcertifikat på 163 SEK/MWh (SKM, 2018). Utöver det är det noterbart att trenden långsiktigt på priset för elcertifikat är nedåtgående.

2.4 Kapacitetsfaktor

Kapacitetsfaktor är ett mått på utnyttjandefaktor hos ett kraftverk. Faktorn beräknas fram genom att dela elproduktionen under en given period med den teoretiska max produktionen som i ekvation 1 visas.

$$\text{Kapacitetsfaktor [\%]} = \frac{\text{Elproduktion [Wattpertimme]}}{\text{Instalerad effekt [Watt]} * 8766 [\text{timmar}]} * 100 \quad (\text{Ekvation 1})$$

2016 var kapacitetsfaktorn hos svenska vindkraftverk 27 % vilket är nära det normala (Statens energimyndighet, 2016)

Enligt statens energimyndighet hade Sverige en installerad vattenkrafteffekt på 16,2 GW och hade produktion på 65 TWh. Därmed ges en kapacitetsfaktor för vattenkraften i Sverige på drygt 45 %

2.5 Kostnadsstudier

Kostnad för generering av el beror på ett multum av faktorer både direkta och indirekta. Kostnaderna för generering ryms inom tre separata rapporter som är självständigt gjorda. Dessa rapporter är gjorda av PWC (Price waterhouse coopers, 2010) på uppdrag av SKGS och den andra av Lazard (Lazard, 2017) samt WSP på uppdrag av Elforsk (Energikommisionen, 2016).

2.5.1 PWC

I PWC rapporten (Price waterhouse coopers, 2010) som företräder den svenska basindustrierna har ett diskussionsunderlag tagits fram om ny kärnkraft är dyr jämfört med alternativa kraftslag på den nordiska elmarknaden. Det ska noteras att styrmedel så som elcertifikat och skatter ej tagits med i beräkningarna. De kraftkällorna som ingått i rapporten är kärnkraft, vattenkraft och vindkraft.

Enligt beräkningar uppgår priset för lönsam vattenkraft respektive vindkraft på 390 SEK/MWh och cirka 645 SEK/MWh. Marginalkostnaden dvs den kostnad för att producera ytterligare en enhet el uppgår för vattenkraft till 60 SEK/MWh och för vindkraft uppgår den till 150 SEK/MWh.

För att beräkna investeringskostnaden ges det tre stycken scenarion, en bas, hög och låg prisscenarion. Det poängteras i rapporten att lokala förutsättningar, tillgängliga leverantörer och konjunkturläge har en stor påverkan på det slutgiltiga priset. Resultatet ges av Tabell 1.

Tabell 1, Beräkning av investeringskostnaden i tre scenarier (Price waterhouse coopers, 2010)

Sek/kW	Vattenkraft	Vindkraft
Bas	28 000	15 000
Hög	40 000	17 000
Låg	20 000	13 000

I tabellen illustreras det att effektutbyggnad av vindkraft är billigare per kW. Det skall också noteras att detta är ett scenario byggt på kalkyler från år 2010 och det år 2018 kan antas att investeringskostnad vid det låga scenario eller till och med under det.

Tekniska förutsättningar för Vattenkraften baseras på lokala förhållanden. I rapporten beräknas det med drifttider på 4000h per år alltså en kapacitetsfaktor på ungefär 46 %. Det noteras att det idag är i princip omöjligt att bygga ny vattenkraft på grund av miljölagstiftning (Sverigesriksdag, 2017). Storleken på ett kraftverk antas vara 40 MW. Detta illustreras i Tabell 2. Förutsättningar i Tabell 2 gäller landbaserad vindkraft. Vindkraft till havs har högre investeringskostnad.

Tabell 2, Resultat av PWC rapporten gällande vattenkraft och vindkraft (Price waterhouse coopers, 2010)

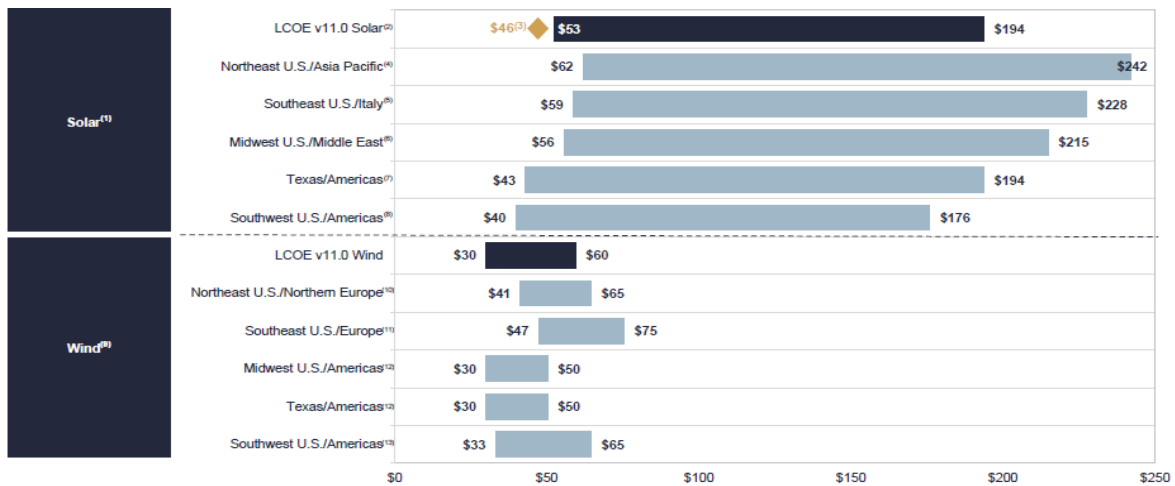
	Vattenkraft	Vindkraft
Tillgänglighet	46 % (4000h)	26 % (2300)
Storlek	40 MW	3 MW
Teknisk livslängd	40 år	20 år

Styrmedel som inte tas med i rapporten är fastighetsskatterna som bedöms påverka priset på vattenkraft med 4,4öre/kWh och vindkraft med 0,4öre/kWh.

2.5.2 Lazard

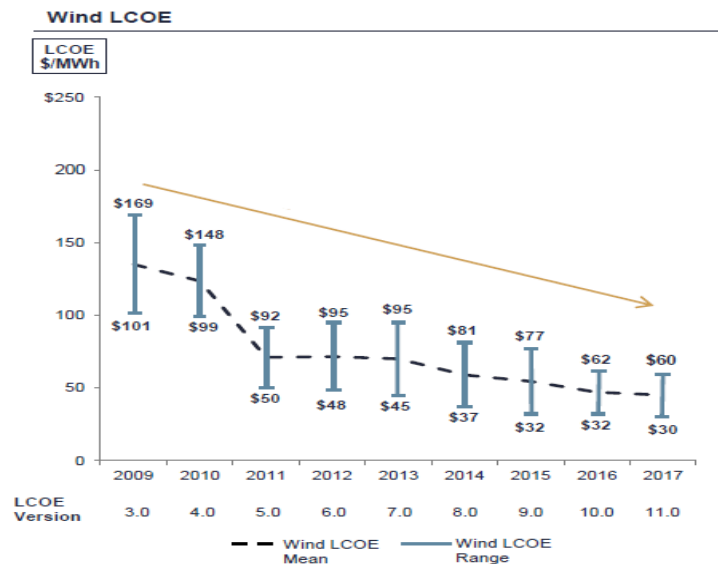
En gång per år redovisar konsultfirman Lazard en rapport på priset som el behöver säljas för att nå break-even alltså det pris som krävs för att något skall vara lönsamt.

I rapporten, Levelized Cost of Energy Analysis (Lazard, 2017) från Lazard bedöms det att kostnaden för vindkraft i norra Europa ligger på 41 till 65 dollar vilket illustreras i Figur 4. Det ska noteras att variabler som transmission, arbetskraft, skatter mm är konstant över hela modellen dvs. att det skiljer sig ej från region till region.



Figur 4, Kostnaden för vindkraft i olika regioner (Lazard, 2017)

I Figur 5 illustreras det tydligt hur priset på vindkraft över tid har sjunkit.



Figur 5, trenden på vindkraft priset (Lazard, 2017)

2.5.3 Elforsk

I rapporten från Elforsk (Energikommisionen, 2016) så undersöks priset från nya och framtida anläggningar. Flera kraftslag undersöks i rapporten däremot kommer endast vindkraft och vattenkraft presenteras här.

2.5.3.1 Vindkraft

I rapporten görs en distinktion mellan land och havsbaserad vindkraft. Utöver det delar olika vindkraftparker in baserat på effekt per kraftverk och dess totala parkeffekt. Det illustreras i Tabell 3 där vindkraften kategoriseras på skalighet och om det baserat på land eller hav.

Tabell 3, Sammanfattning av Elforsk rapporten kring vindkraft (Energikommisionen, 2016)

Namn	Antal verk	Effekt per verk (MW)	Total effekt (MW)	Land/Hav
Vind Land 10	5	2	10	Landsbaserad
Vind Land 150	50	3	150	Landsbaserad
Vind Hav 144	40	3,6	144	Havsbaserad
Vind Hav 600	100	6	600	Havsbaserad

I Elforsk rapporten (Energikommisionen, 2016) beräknas att fullasttimmarna ligger högre för havsbaserad vindkraft än landbaserad. Fullasttimmar kännetecknar antalet timmar som kraftverken producerar per år med fullt effekt. Detta ger en kapacitetsfaktor på drygt 33 % för landbaserad vindkraft och 42 % för havs baserade vindkraft. Fullasttimmarna som användes i rapporten är baserade på undersökningar av vindkraftparker i Sverige och Danmark. Fullasttimmarna för de olika typerna av parker illustreras i Tabell 4. I tabellen jämförs parker/stationer. Siffrorna i första raden indikerar den installerade effekten i MW. Detta gäller även i Tabell 4.

Tabell 4, Fullastimmarna för de olika typerna av parker (Energikommisionen, 2016)

Parametrar	Vind-Land 10 [MW]	Vind-Land 150 [MW]	Vind-Hav 144 [MW]	Vind-Hav 600 [MW]	Enhet
Resultierande fullasttimmar	2900	2900	3700	3700	h/år
Eleffekt brutto	10	150	144	600	MW

I rapporten redovisas även de investeringskostnaderna för att sätta upp vindkraftverk/parker. Kostnaderna och kostnadsfördelning redovisas i Tabell 5. Det noteras tydligt att investeringskostnaden för havsbaserad vindkraft är betydligt högre än landbaserad. IP talet definieras som investeringskostnaden genom årsproduktion.

Tabell 5, Kostnaderna och kostnadsfördelningarna för att sätta upp vindkraftverk/parker (Energikommisionen, 2016)

Parametrar	Vind-Land 10 [MW]	Vind-Land 150 [MW]	Vind-Hav 44 [MW]	Vind-Hav 600 [MW]	Enhet
Specifik Investering	12 000	12 000	25 000	23 300	Kr/kW _{el, brutto}
Specifik Investering	-	-	-	-	Kr/kW _{el, netto}
IP-tal	4,1	4,1	6,8	6,3	Kr/kW _{år}
Byggtid	1	2	2	2	År
Fördelning					
Vindkraftverk	60–65 %	60–65 %	30–40 %	30–40 %	-
Fundament	5–10 %	5–10 %	15–20 %	15–20 %	-
Elanslutning	10–15 %	10–15 %	20–30 %	20–30 %	-
Vägar	5–10 %	5–10 %	-	-	-
Övrigt	5–10 %	5–10 %	10–20 %	10–20 %	-

I rapporten undersöks också drift och underhållskostnader (DoU). Värdena som tillsätts baseras på information från rådande litteratur och erfarenheter från branschen. Underhållskostnaderna för landbaserad vindkraft uppskattas till 140SEK/MWh och för havsbaserad vindkraft 180SEK/MWh (Energikommisionen, 2016).

Styrmedel som bidrar till en kostnad för vindkraften är fastighetsskatten. I rapporten noteras det att fastighetsskatten skiljer sig från kraftverk till kraftverk. Vid genomsnittsberäkningar för alla kraftverk så ansätts en genomsnittlig skatt per kraftverk till 0,4öre/kWh.

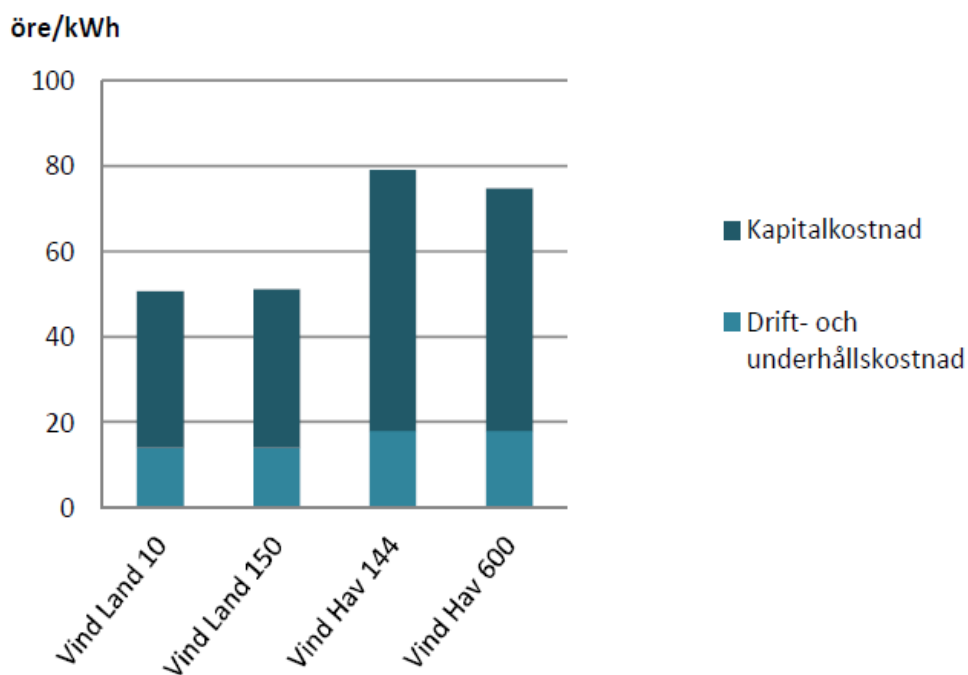
I resultatet används det en kalkylränta på 6 % dvs. avkastningskravet på investering. Det är inte nödvändigtvis representativt för vindkraft men det används för alla andra kraftslagen i rapporten.

Kostnader inklusive en kalkylränta på 6 % samt beräknade resultat illustreras i Tabell 6.

Tabell 6, Kostnader för vindkraft på land och hav (Energikommisionen, 2016)

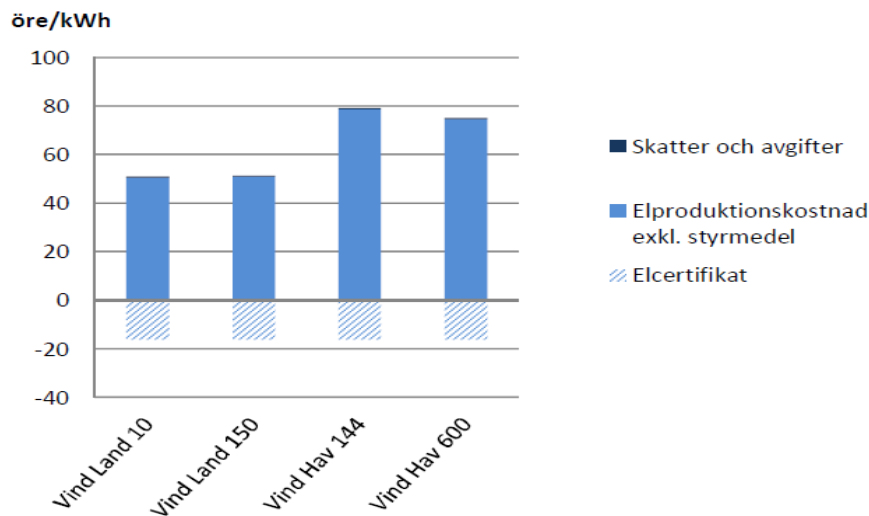
Parametrar	Vind-Land 10 [MW]	Vind-Land 150 [MW]	Vind-Hav 144 [MW]	Vind-Hav 600 [MW]	Enhet
Produktion					
Elproduktion	29	435	533	2 200	GWh/år
Kostnader					
Kapitalkostnad	36,8	37,2	61,1	56,9	öre/kWh _{el}
DoU-kostnad	14,0	14,0	18,0	18,0	öre/kWh _{el}
Elcertifikat	- 16,1	- 16,1	-16,1	-16,1	öre/kWh _{el}
Skatter & Avgifter	0,4	0,4	0,4	0,4	öre/kWh _{el}
Resultat					
Elproduktionskostnad <u>utan</u> styrmedel	51	51	79	75	öre/kWh _{el}
Elproduktionskostnad <u>med</u> styrmedel	35	36	63	59	öre/kWh _{el}

I Figur 6 illustreras relationer mellan kapitalkostnaden och DoU kostnad som en del av totala produktionspriset.



Figur 6, Kapitalkostnad och DoU kostnad för vindkraft (Energikommisionen, 2016)

I Figur 7 illustreras mellan produktionskostnader, skatter och avgifter samt elcertifikat som en total del av elproduktionskostnaden.



Figur 7, jämförelse av produktionskostnader, skatter och avgifter samt elcertifikat (Energikommisionen, 2016)

2.5.3.2 Vattenkraft

I Elforsk rapporten (Energikommisionen, 2016) görs en distinktion mellan småskalig och storskalig vattenkraft. Baserat på typiska kraftverk i Sverige ansätts de småskaliga kraftverken ha en effekt på 5 MW och det storskaliga kraftverket ha en effekt på 90 MW samt Fullastimmarna ansätts till 4000h för båda två. Detta baseras på den installerade effekt som finns i Sverige och den el som produceras från kraftslaget i Sverige. Därmed antas kapacitetsfaktorn ligga på drygt 45 %.

I Elforsk rapporten noteras det att flera studier tidigare gjort på att undersöka investeringskostnader för vattenkraftverk bland annat av ”The International Renewable Energy Agency (IRENA)” och ”World Energy Council (WEC)”. Däremot bedöms de inte kunna appliceras på svenska förhållanden. Istället har ett urval av byggprojekt av vattenkraftverk där kostnaderna offentliggjorts. Dessa inkluderar Fortums byggprojekt, Fryksfors och Eldforsen, Jämtkrafts byggprojekt Hismofofs VI samt Vattenfalls Akkatas. Detta då de ger en bild av både småskaliga och storskaliga kraftverk. Investeringskostnaden bedöms ligga på 20 000 SEK/kW för storskalig vattenkraft och 25000 SEK/kW för småskalig vattenkraft (Energikommisionen, 2016). I rapporten framgår det att osäkerheten är stor och spannet ligger mellan 7000–32000 SEK/kW för storskalig vattenkraft och 8500–53000 SEK för småskalig vattenkraft.

Baserat på erfarenhet från WSP som är rapportens författare ansätts drift och underhållskostnaden till 2 % av investeringskostnaden. Detta ger DoU kostnad på 100 SEK/MWh. För småskaliga kraftverk bedöms DoU kostnaderna ligga på 125 SEK/MWh.

I rapporten konstateras det att el från nya vattenkraftverk är berättigad till elcertifikat. Skatten på vattenkraft låg på 2,8 % av taxeringsvärdet när rapporten skrevs. Detta gav en genomsnittlig skattepåverkan per kraftverk till 8,9 öre/kWh. De summerade kostnaderna förutom kapitalkostnad visas i Tabell 7.

Tabell 7, Kostnaderna och kostnadsfördelningarna för att sätta upp vattenkraftverk (Energikommisionen, 2016)

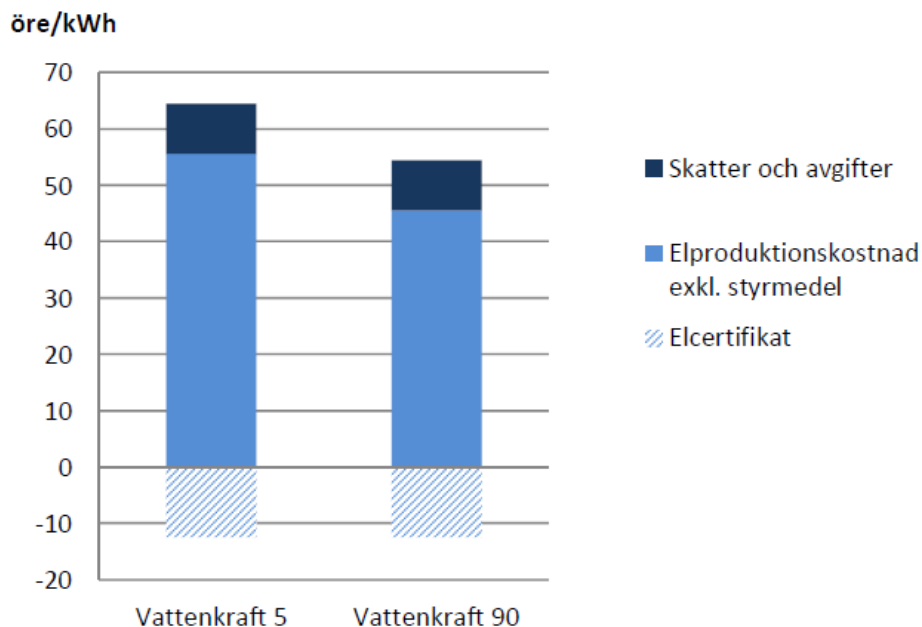
Parametrar	5 MW	90 MW	Enhet
Specifik Investering	25 000	20 000	kr/kW _{el} , brutto
Byggtid	2	4	år
Avskrivningstid	40	40	år
DoU	125	100	kr/MWh _{el}
Elcertifikat	- 190	- 190	kr/MWh _{el}
Fastighetsskatt	8,9	8,9	öre/kWh _{el}

Kostnader inklusive en kalkylränta på 6 % samt beräknade resultat illustreras i Tabell 8.

Tabell 8, Kostnader för vattenkraft (Energikommisionen, 2016)

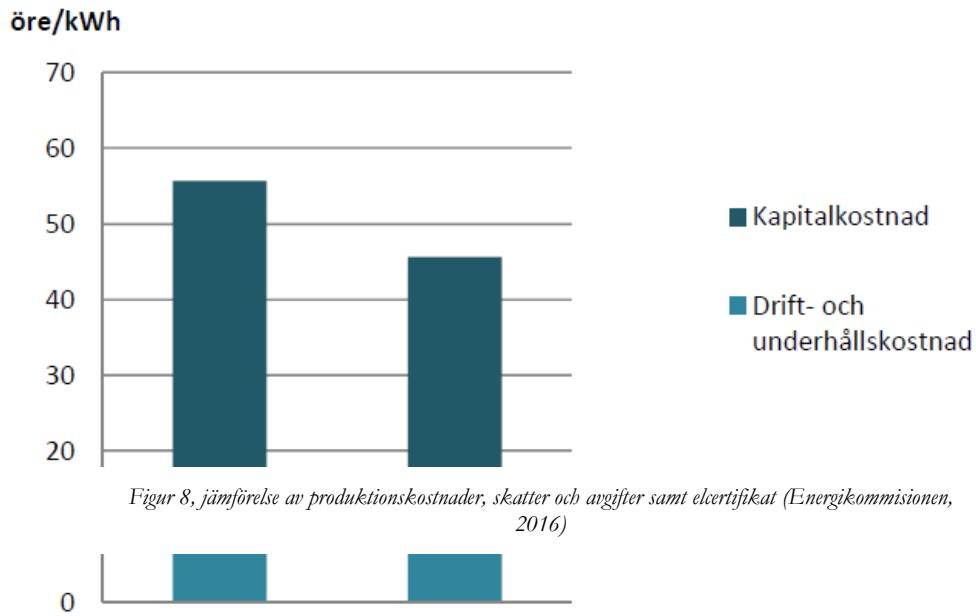
Parametrar	5 MW	90 MW	Enhet
Produktion			
Elproduktion	20	360	GWh/år
Kostnader			
Kapitalkostnad	43,2	35,7	öre/kWh _{el}
DoU-kostnad	12,5	10,0	öre/kWh _{el}
Elcertifikat	- 12,3	-12,3	öre/kWh _{el}
Skatter & Avgifter	8,9	8,9	öre/kWh _{el}
Resultat			
Elproduktionskostnad <u>utan</u> styrmedel	56	46	öre/kWh _{el}
Elproduktionskostnad <u>med</u> styrmedel	52	42	öre/kWh _{el}

I Figur 8 illustreras relationer mellan kapitalkostnaden och DoU kostnad som en del av totala



produktionspriset

I Figur 9 illustreras mellan produktionskostnader, skatter och avgifter samt elcertifikat som en total del av elproduktionskostnaden.



Figur 8, jämförelse av produktionskostnader, skatter och avgifter samt elcertifikat (Energikommisionen, 2016)

Figur 9, Kapitalkostnad och DoU kostnad för vattenkraft (Energikommisionen, 2016)

3 Känslighetsanalys

Mycket av de data som används i rapporten bygger på information hämtat från andra rapporter och hemsidor. Eftersom ingående data innehåller en stor mängd variabler och att dessa har en inbyggd osäkerhet är det rimligt att upprätta en känslighetsanalys. Känslighetsanalysen är viktig för att undersöka modellens potential. Många parametrar beror också på rådande ekonomiska och samhällspolitiska läge och detta kan ändras relativt snabbt.

Viktiga parametrar som ändrar modellens utfall är kapacitetsfaktorn. Kapacitetsfaktorn hos vindkraften beror mycket på väder. Detta illustreras tydligt i vindkraftsproduktionen år 2015 och 2016. Även om de installerade kapaciteten ökade så minskade den totala elproduktionen. Det är då viktigt att man har ett relativt stort spann i kapacitetsfaktorn.

Vattenkraften utgör en viktig roll som baskraft i det svenska elsystemet. Grovt beräknat går det att konstatera att kapacitetsfaktorn för vattenkraften har ett inverterat förhållande mot det andra stora kraftkällorna i Sverige nämligen kärnkraften och vindkraften. Dock är intervallet mindre än det hos vindkraften.

Subventioneringen som vindkraften får från elcertifikatsystemet utgör en stor källa till priset som vindkraftsproducenterna får. Eftersom priset är marknadsbaserat så kommer det alltid att fluktuera. Under perioden femårsperiod från 2013 till 2018 har det lägsta priset uppgått till 52,5 SEK/MWh i juni 2017 och det högsta priset noterades till 239 SEK/MWh i januari 2013. Detta utgör en väldigt stor osäkerhet då priserna varierar relativt mycket.

Investeringskostnaderna utgör en väsentlig del av produktionspriset. Inflation, regleringar och ny teknik medför att denna kostnad både överstiga eller understiga estimaten i modellerna.

Eftersom en stor del finansiering av nya kraftverk görs av lån har ränteläget en stor påverkan. Eftersom makroekonomiska faktorer kan ändras snabbt gäller det ha ett spann i vilken ränta man räknar med. Intervallet för räntorna ligger vanligtvis i en intervall av 0 till 5 % vilket skulle vara ett grundantagande. I rapporten från Elforsk illustreras det också hur stor osäkerheten är utbyggnadskostnaderna.

Eftersom Lazard modellen (Lazard, 2017) ger ett pris i amerikanska dollar blir det viktigt att beakta valutafluktuationer. Detta är något som illustreras tydligt under detta kandidatexamensarbete. En försvagning på 10 % av SEK gentemot USD skedde under en månad (Investing.com, 2018). Detta utgör en enorm källa till osäkerhet. Valutafluktuationer kan också påverka importpriserna för tekniska komponenter. Beroende på när dessa köps in kan utbyggnads och service priset variera kraftigt. Detta är något som är svårt att kunna förutspå även om man innehar väsentliga nationalekonomiska kunskaper. En felmarginal är svår att bedöma men indikativt bör den ligga på mer än 10 %.

De politiska förutsättningarna för både vattenkraft och vindkraft är idag gynnsamma. För vattenkraften så sänks fastighetsskatten successivt och för vindkraften finns ett certifikatsystem på plats som subventionerar producenterna. I dagsläget finns det inget som tyder på att de ska ändras åt det negativa hållet. Dock bör denna risk inte underskattas. Politik osäkerhet är något som alltid kan uppstå även om det ter sig osannolikt tack vare de breda energiöverenskommelserna (Regeringen, 2016).

4 Resultat och diskussion

Olika typer av resultat har jämförts för att kunna se vatten- och vindkraftverks påverkan på elproduktionen från olika synvinklar med en extra fokus på kostnader. För att även kunna se kraftverkens utveckling ur ett historiskt perspektiv har data samlats in från år 1970 och framåt så att trender förhoppningsvis kunnat urskiljas. Även vart denna energi tar vägen och hur mycket som använts har tagits i beaktelse då det är av intresse som grund för framtida sociala samt miljömässiga inslag.

Elproduktionskostnaden för vind- och vattenkraftverk påverkas av flertalet faktorer. Miljömässig, sociala samt ekonomiska aspekter har tagits till hänsyn i denna undersökning för att uppnå en så noggrann undersökning som möjligt (Vattenfall, 2017).

Tittar man ur en miljömässig synvinkel så kan vi först och främst konstatera att varken vind- eller vattenkraft använder sig av fossila bränslen vilket (Wavecraft, 2018) leder till att det ej frigörs några växthusgaser vid produktion av elenergi. En annan fördel med båda energislagen är att källan till energin, vind respektive vatten är outtömlig, de är en så kallad inhemsk tillgång. Man kommer alltid ha vind och vatten och är därför inte beroende av fossila bränslen som är ändliga tillgångar.

Ur en ekonomisk synvinkel så är själva vattnet och vinden i princip gratis. Då vind- och vattenkraftverken är byggda leder denna gratis kostnad av källa till att de rörliga kostnaderna blir låga. Vindkraftverk har den karakteristiska fördelen av att kunna avvecklas utan att lämna några spår efter sig på platsen den en gång stod på. Även om vattenkraftverk ej har denna fördel så har den förmånen av en lång ekonomisk livslängd (Svenska dagbladet, 2009). Vattenkraft fungerar även som en reglerkraft, det vill säga den energi som behövs som uppbackning när kraftkällor som exempelvis vindkraft, ej fungerar (Jalap & Wimmerstedt, 2013). Vattenkraft bidrar även till stabila driftkostnader på en låg nivå (Ström, 2012).

Följaktligen diskuteras energikällorna ur ett socialt perspektiv där det inte finns endast fördelar med vind- och vattenkraft. Vindkraften ger, som tidigare i förstudiet nämnts, upphov till buller vilket kan störa det kringliggande djurlivet. Habitater för dessa djur ändras och nischer kan komma att försämrats. Även om vindkraft nämnts som ett så kallat grönt alternativ så har alltså byggen av vindkraften en negativ inverkan ur en miljömässig synvinkel. Då vattenkraften byggs med hjälp av bland annat dammar och tar enorm stor plats så påverkas även här ekosystemet i hög grad och kan leda till ändringar som inte är lika enkla som för vindkraften att återställa när vattenkraftverket väl tagits ur bruk.

Stora investeringar krävs i början av livscykeln för både vind- och vattenkraftverk. Dessutom är vindkraft i allra högsta grad beroende av vädret och hur mycket vind som blåser. Vindkraftverken måste även vara byggda på platser där inga andra byggnader har möjligheten att blockera den blåsande vinden. En av anledningarna till att Stockholm ej har några vindkraftverk kan även bero på estetiska skäl vilket är anledningen till att flest vindkraftverk byggs i Glesbefolkade områden (Sollefteå har flest vindkraftverk med 99 stycken anläggningar) (Wavecraft, 2018).

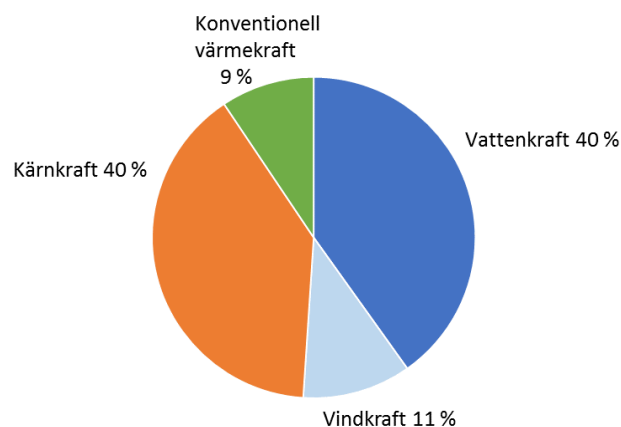
I oktober 2015 meddelade Vattenfall och E.ON. Att fyra kärnkraftsreaktorer ska stängas inom fem år. Dessa är Ringhals 1, Ringhals 2, Oskarshamn 1 och Oskarshamn 2. De har sammanlagt en installerad effekt på 2,8 GW, vilket motsvarar ca 30 procent av den installerade effekten i kärnkraft på totalt 9,5 GW. Detta skapar en utmaning att vidare bygga samt utveckla bland annat vattenkraft systemen då dessa konventionella kärnkraftverk stängs och energin måste komma ersättas från andra håll (Byman, 2016)

Då det finns gott om vattenkraft i Norden kan det exporteras elöverskott till andra länder i Europa. Detta medför att länder med kolkraftverk ej behöver starta igång dem.

Det finns lösningar som är oberoende av väderförhållandena. En av de lösningarna skulle kunna vara att kombinera pumpkraftverk med solkraftverk och vindturbiner vilket leder till både leveranssäkerhet samt en jämn produktionstakt. Positivt är även att denna metod använder sig av förnybar energi som tillverkas med vind- och solkraft i samband med pumpkraftverkets potential att lagra energi. Tillsammans producerar kraftverken ett energiöverskott. Däremot är denna arbetsmetod fortfarande under utveckling.

4.1 Andel produktion

Jämför man vattenkraft med andra energislag angående hur stor andel av elproduktionen varje energislag innehar kan det ses att vattenkraft är det största energislaget tillsammans med kärnkraft. Andelen vindkraft av elproduktionen är ca $\frac{1}{4}$ av den andel vattenkraft som produceras som Figur 10 visar. Detta medför att vindkraft är det tredje största energislaget i svensk elproduktion.

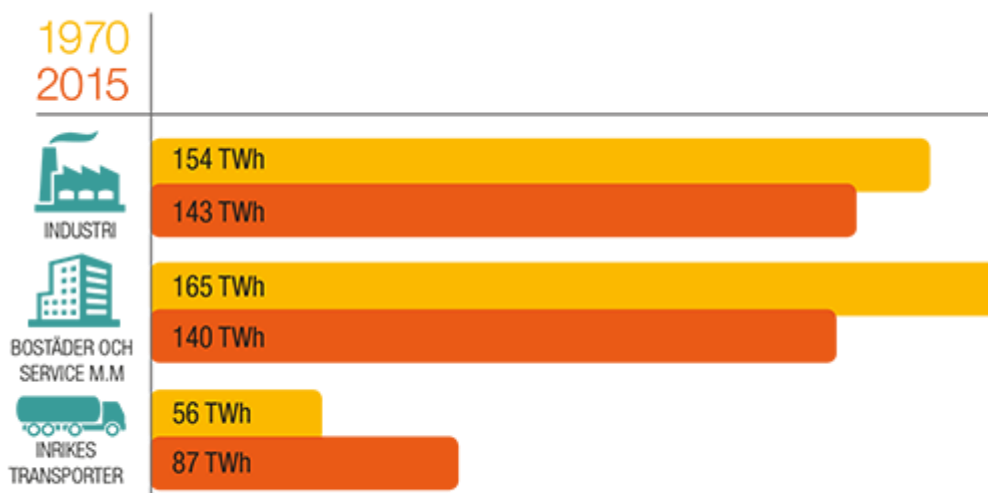


Figur 10, Andel elproduktion i Sverige år 2017 för varje energislag (Energimyndigheten, 2018).

Som Figur 3 visar i förstudien kan det ses ur ett historiskt perspektiv hur Sveriges elproduktion utvecklats sedan 1970. Däribland kan det ses att utvecklingen av Sveriges elproduktion har varit relativt stabil de senaste 20 åren med avseende på vattenkraft. Högsta värdet nåddes vid år 2000 och 2012 medan lägsta värdet nåddes vid första mätningen, år 1970. Det illustreras att mellan år 1993–1996 så varierade värdet för vattenkraft mellan cirka 50–60 TWh. Mellan 2001–2003 så skedde en drastisk sänkning från cirka 70 TWh till 50 TWh. För vindkraftverk så finns resultaten från och med år 2004. Högsta värdet för vindkraft uppnåddes år 2012 med ett värde av cirka 80 TWh. Lägsta värdet för vindkraft hittas även här vid början, det vill säga år 2004. Den kraftigaste förändringen skedde mellan år 2012–2013 då Elproduktionen från vindkraftverk i Sverige sjönk från cirka 80 TWh till 65 TWh (Byman, 2016).

4.2 Användning av energi

Figur 11 visar vart energin tar vägen och i hur stor mängd. Det framgår att i jämförelse med år 1970 används nuförtiden mindre mängd energi i bostäder, service och industrin. Däremot så har energianvändningen för transporter stigit. Dock är Sveriges energianvändning idag ungefär lika stor som år 1970 (Energimyndigheten, 2018).



Figur 11, Andel energi som används av bushåll samt service, transport och industri år 1970 och 2015, TWh (Energimyndigheten, 2018).

Tittar vi på vart just elanvändningen i Sverige tar vägen med avseende på samhällskategori så ser man att såsom energin i helhet så tar kategorin Bostäder och Service upp störst andel energi. Detta illustreras i figuren nedan.

4.3 Verkningsgrad

En viktig parameter för att jämföra olika energikällor är verkningsgrad då det visar hur mycket utav den ursprungliga energin fås ut genom kraftverket. Som det tidigare nämnts i förstudiet har vattenkraft betydligt större verkningsgrad än vindkraft. Vattenkrafts verkningsgrad går upp till 90 % medan vindkraft kan teoretiskt ha högst 56 % som verkningsgrad. När det kommer till verkningsgrad har vattenkraft den högsta bland olika energislag men det ska inte glömmas hur viktigt andra parametrar som klimatpåverkan, kapacitetsfaktor med mera.

4.4 Jämförelse av kostnadsstudier

Studierna från litteraturstudien utgör stommen för att undersöka priset av att producera el från vindkraft och vattenkraft i Sverige. I Tabell 9 sammanställs produktionskostnaderna från olika studier som återfinns i litteraturstudien.

Rapporterna skrevs under olika tidsperioder vilket påverkar resultatet då vissa parametrar skiljer sig, dessutom är den undersökta geografien inte helt den samma. Dessutom har vissa rapporter resultat som täcker ett helt kraftslag medan andra segmenterar den.

Tabell 9, sammanställningen av energimodellers förslag för priser till vind- och vattenkraft

	Vindkraft [SEK/MWh]	Vattenkraft [SEK/MWh]
PWC	645	390
Lazard	328–520	-
Elforsk	483	470

I rapporten från PWC tas inte styrmedel som skatter och certifikat med. Resultaten som fås blir då en jämförelse av de direkta priserna som producenterna.

Det inte står angivet med det antas att det skett en väsentligt mycket djupare studie i utbyggnadskostnaderna än vad som finns angivet i rapporten. Felintervallet kan med ganska stor säkerhet antas vara lägre i rapporten gjord av PWC än den i denna rapport. Eftersom styrmedel inte beaktas i rapporten från PWC ges ett break-even resultat för vattenkraft till ett lägre värde än i denna rapport. Eftersom styrmedel subventionerar vindkraften så fås ett högre break-even resultat i rapporten från PWC än den i denna rapport. Detta bör också beaktas att rapporten är publicerad 2011 och det har skett ändringar för styrmedel. Det största av dessa ändringar är att fastighetskatten för vattenkraft som sänkts/kommer sänkas från 2,8 % till 0,5 % av taxeringsvärdet. Dessutom har det skett framsteg i teknologi framför allt kring den nybyggda vindkraften. Detta medför att det kan vara rimligt att en modell från 2018 ger ett break-even värde som är lägre än. Även Figur 4 i förstudien bekräftar detta antagande av att det låga prisscenariot från PWC rapporten är rimligt

I rapporten från Lazard görs en noggrannare undersökning av teknologin i detta fall vindkraft men de lokala förutsättningarna utgör en större källa för osäkerhet. Området "Northern Europe" utgör ett väldigt stort område och är inte enbart specificerat till Sverige. Detta understryks också i rapporten, dessutom ges ett prisintervall med ett stort spann. I denna rapport tas de påverkan som styrmedel såsom elcertifikat har på det slutgiltiga break-even priset. I detta fall bör det understrykas att styrmedlen som finns i Sverige har en subventionerad effekt vilket då medför att priset som ges av Lazard modellen kommer sannolikt ligga i överkant.

Priserna som Elforsk kommit fram till ligger i mitten av spannet, däremot indikerar det inte nödvändigtvis att det är det korrekta priset. Däremot är den studien som har genomfört de mest noggranna studierna av de lokala förutsättningar som råder i Sverige. Det ska noteras att det genomsnittliga priset för elcertifikat ligger lägre i dagens läge (2018) än 2014 när rapporten skrevs. Därmed kan det antas att priset för produktion ligger högre än det denna rapport påvisar om alla andra parametrar är lika.

4.5 Kapacitetsfaktor

Det som kan konstateras är att kapacitetsfaktorn utgör en stor faktor i ett kraftverks lönsamhet. Detta då majoriteten av kostnaderna är fasta.

För vindkraftverk spelar väderförhållanden den viktigaste rollen när det gäller kapacitetsfaktorn hos verken. Eftersom lokala väderförhållanden och geografi spelar roll skiljer sig kapacitetsfaktorn mellan olika verk. Ur modellerna påvisas det att kapacitetsfaktorer på 35 % för landbaserad vindkraft och 42 % för havsbaserad vindkraft används (Energikommisionen, 2016). Detta kan ställas i relation mot den genomsnittliga kapacitetsfaktorn på 27 % i Sverige (Statens energimyndigheten, 2015). För intressenter som är villiga att bygga vindkraftverk kan det vara värt att beakta den kapacitetsfaktor som behövs utan styrmedel om det politiska och/eller marknadsläget skulle ändras radikalt.

Likt vindkraften utgörs kostnaderna för vattenkraft mestadels av fasta kostnader. Även hos detta kraftslag beror lönsamheten på kapacitetsutnyttjandet. Till skillnad från vindkraften har väderförhållanden en mindre roll i hur stort utnyttjande av kapaciteten man kan få. Dock skall det poängteras att vädret fortfarande spelar roll. En tid med låg nederbörd kommer resultera i lägre kapacitetsutnyttjande på samma sätt kommer en tid med hög nederbörd resultera i motsatsen. Den andra faktorn som har betydelse är hur de andra kraftslagen i elsystemet både i Sverige men även i norra Europa som helhet utnyttjas. Eftersom vattenkraft agerar regler kraft i elsystemet kommer kapacitetsutnyttjandet vara högre i ansträngda situationer (Vattenfall, 2013a). I modellerna som undersöktes kan man konstatera kapacitetsutnyttjandet uppgick bör uppgå till 45 %. Detta är lika med den kapacitetsfaktor som råder för vattenkraft i Sverige.

4.6 Politiska faktorer

Som det kan konstateras av kostnadsmodellerna finns väsentliga parametrar som är beroende av politiska beslut exempelvis styrmedel som subventioner i form av elcertifikat och skatter.

2015 undertecknades Paris-avtalet (United Nations, 2015) därmed illustrerades tydligt att det finns en stark politisk vilja att minska utsläppen av växthusgaser något som inte var lika tydligt innan. Detta paradigmskifte kan innebära att mer resurser satsas på att utveckla teknologier som vindkraft och vattenkraft. Tack vare detta kan t.ex. verkningsgraden öka och därmed också öka kapacitetsfaktorn. Detta kan då resultera i att break-even priset sjunker. Ett annat mycket möjligt scenario är att det från politiskt håll satsas ännu mer på att bygga ut förnybara källor genom att öka subventionerna/minska skatter på klimatneutrala kraftslag så som vindkraft och vattenkraft. Det troliga är då att en del av intäktsbortfallet vägs upp av ökade skatter mot konsument.

5 Slutsatser och framtida arbete

Slutsatsen som kan dras av denna studie är att vattenkraft och vindkraft båda har positiva samt negativa inslag på den svenska elproduktionen i allmänhet. Beroende på ur vilken synvinkel (ekonomiskt, miljömässigt eller socialt) samt i vilket omfång elen är tänkt att produceras till (större eller mindre kraftverk) så har vatten- och vindkraftverk olika stor påverkan på elproduktionskostnaden i Sverige.

Elproduktionen för vatten- och vindkraft kan jämföras med avseende på olika perspektiv (ekonomiskt, miljömässigt eller socialt). Det gör också stor skillnad om elen är producerat storskaligt kontra småskaligt.

Att få ett korrekt pris för de olika energislagen är svårt då modellerna och dess ingående parametrar som studerats inte alltid är noggranna. För att få ett lågt felintervall krävs en omfattande studie av de flesta parametrar, vilket tidsmässigt inte rymmer inom ett kandidatexamensarbete. Ytterligare svårigheter finns att täcka ett så omfattande område som Sverige, där lokala förutsättningar skiljer sig vitt.

El och dess pris har en väsentlig inverkan på Sverige och dess ekonomi och utgör därför ett viktigt område där mer forskning skulle krävas. Denna ståndpunkt verkar också delas med många då det finns relativt omfattande forskning på detta område runtom i världen. Även om det finns svårigheter i att bygga noga modeller för att beräkna pris på olika energislag förfinas metoderna kontinuerligt. De omfattande katalog data om produktion och förbrukning som finns tillgänglig i västvärlden i allmänhet och i Sverige i synnerhet resulterar i att informationssökning kan genomföras relativt snabbt och ha en god noggrannhet.

Rekommendationer på framtida arbete baseras mycket på den tidsomfattning som finns tillgänglig. En kortare studie likt ett kandidatexamensarbete rekommenderas det att man håller sig till ett snävare intervall. Detta då det finns en väldigt stor mängd information att undersöka och gallra. Detta intressanta ämne medför att väldigt breda arbeten kan uppstå. Skulle ett bredare arbete påbörjas rekommenderas det att man först definiera en tydlig målbegränsning. Dessutom rekommenderas det tidigt att identifiering sker av vilka parametrar som påverkar elpriset. En jämförande studie mot existerande rapporter är att rekommendera för att undersöka rimligheten i svaren.

7 Referenser

- Alopaeus, T., 2017. *Förnybar energi*. [Online]
Available at: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Fornybar-energi/>
[Använd 5 maj 2018].
- Analys.se, 2015. *Svensk elproduktion sedan 1970*. [Online]
Available at: <http://www.analys.se/portfolio-items/svensk-elproduktion-sedan-1970/>
[Använd 5 maj 218].
- Bixia, u.d. *Vattenkraft - en viktig energikälla*. [Online]
Available at: <https://www.bixia.se/producent/varfor-valja-bixia/vattenkraft>
[Använd 5 maj 2018].
- Byman, K., 2016. *Sveriges framtida elproduktion*, stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).
- Earthmail, 2018. *Earthmail maintenance*. [Online]
Available at: <https://www.earthmill.co.uk/wind-turbines-for-sale/ewt-wind-turbines/dw52-42-500kw-wind-turbine/>
[Använd 8 april 2018].
- Eastwick, G., 2009. *Wind turbines: is vertical or horizontal best?*. [Online]
Available at: <http://www.yougen.co.uk/blog-entry/1358/Vertical+or+horizontal+wind+turbines/>
[Använd 8 april 2018].
- Energikommisionen, 2016. *Promemoria om kostnaderna för nya elproduktionsanläggningar i sverige*, u.o.: Statens offentliga utredningar.
- Energimyndigheten, 2017. *Om elcertifikatsystemet*. [Online]
Available at: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/>
[Använd 20 mars 2018].
- Energimyndigheten, 2018. *Energiläget 2017*. [Online]
Available at: <http://www.energimyndigheten.se/aret-2017/nast-hogsta-elproduktionen-nagonsin/>
[Använd 5 maj 2018].
- Investing.com, 2018. *USD/SEK - US Dollar Swedish Krona*. [Online]
Available at: <https://www.investing.com/currencies/usd-sek>
[Använd 25 april 2018].
- Jalap, J. & Wimmerstedt, L., 2013. *Kostnad för olika energikällor*. u.o.:u.n.
- Lazard, 2017. *Lazard's levelized cost of energy analysis_version 11.0*, u.o.: u.n.
- Löv, H., 2012. *4 kap. 6 § miljöbalken*, Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- NCC, 2012. *NCC förbereder vattenkraftverk för framtiden*. [Online]
Available at: <http://news.cision.com/se/ncc/r/ncc-forbereder-vattenkraftverk-for-framtiden,c9298778>
[Använd 7 maj 2018].

- Olofsson, I., 2012. *Verkningsgrad*. [Online]
Available at: <http://www.acc.umu.se/~ingemar/verkningsgrad.shtml>
[Använd 5 maj 2018].
- Price waterhouse coopers, 2010. *Vad kostar kraften*, u.o.: SKGS.
- Regeringen, 2016. *Ramöverenskommelse mellan Socialdemokraterna, Moderaterna, Miljöpartiet de gröna, Centerpartiet och Kristdemokraterna*, u.o.: u.n.
- Skatteverket, 2018. *Fastighetsavgift och fastighetskatt*. [Online]
Available at:
<https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/fastighet/fastighetsavgiftochfastighetskatt.4.233f91f71260075abe88000984.html>
[Använd 20 mars 2018].
- Skellefteå Kraft, u.d. *Vattenkraft en viktig del av framtidens energi*. [Online]
Available at: <https://www.skekraft.se/om-oss/verksamhet/vattenkraft/#box-no-3>
[Använd 5 maj 2018].
- SKM, S. K., 2018. *SKM Elcertificate price history (SEK)*. [Online]
Available at: <http://www.skm.se/priceinfo/history/>
[Använd 2 april 2018].
- Statens energimyndighet, 2016. *Vindkraftstatistik 2016*, u.o.: energimyndigheten.
- Statens energimyndigheten, 2015. *Energiläget 2015*, Bromma: Energimyndighet.
- Ström, M., 2012. *Småskalig vattenkraft - Dagsläge och framtidsplaner*, Stockholm: KTH Industriell teknik och management.
- Svenska dagbladet, 2009. *Satsa på miljövänlig vattenkraft*. [Online]
Available at: <https://www.svd.se/satsa-pa-miljovanlig-vattenkraft>
[Använd 5 maj 2018].
- Sveriges riksdag, 2017. *Skatteförslag med anledning av energiöverenskommelsen*. [Online]
Available at: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/arende/betankande/skatteforslag-med-anledning-av_H401SkU31
[Använd 5 maj 2018].
- Swedewind, u.d. *Swedewind - Vindkraft som energikälla*. [Online]
Available at: <http://www.swedewind.se/typeravvindkraftverk.html>
[Använd 5 maj 2018].
- United Nations, 2015. *Paris Agreement*, Paris: u.n.
- Vattenfall, 2013a. *Så fungerar vattenkraft*. [Online]
Available at: <https://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/vattenkraft/sa-fungerar-vattenkraft/>
[Använd 5 maj 2018].
- Vattenfall, 2013b. *Vattenkraft i framtiden*. [Online]
Available at: <https://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/vattenkraft/vattenkraft-i-framtiden/>
[Använd 5 maj 2018].

Vattenfall, 2017. *Fördelar och nackdelar med olika energikällor*. [Online]
Available at: <https://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/for-och-nackdelar-med-olika-energikallor/>
[Använd 5 maj 2018].

Wavecraft, 2018. *Vindkraft eller vattenkraft*. [Online]
Available at: <http://wavecraft.se/vindkraft-eller-vattenkraft/>
[Använd 5 maj 2018].